



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07220913 A**(43) Date of publication of application: **18.08.95**

(51) Int. Cl.

H01F 1/16
C21D 8/12
C21D 9/46

(21) Application number: **06012937**(22) Date of filing: **04.02.94**(71) Applicant: **NIPPON STEEL CORP**

(72) Inventor: **MINAMIDA KATSUHIRO**
HAMADA NAOYA
SUGIBASHI ATSUSHI
KOBAYASHI TAKAMICHI

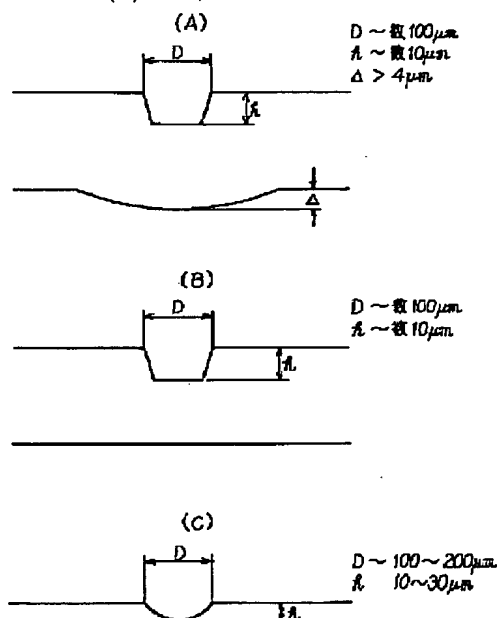
(54) **MAGNETIC STEEL PLATE EXCELLENT IN
MAGNETIC CHARACTERISTIC**

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide products of oriented magnetic steel plates having an iron loss reducing effect after stress easing annealing, when they are practically usable, by solving a problem on the shape of recessed grooves of a tooth-shaped roll formed by a method by the pressure method or by chemical etching.

CONSTITUTION: The surface of an oriented magnetic steel plate has traces of a continuous pattern, and the rear of the steel plate is flat. The average diameter of the craters formed on the surface by emitting a Q switch CO₂ laser beam is 100-200 μ m, and the depth is 10-30 μ m. They are uniformly arranged so that they may be 3-10mm in a rolled direction and that the ratio of hole processing (hole interval/hole diameter) to be specified by the hole diameter and the hole interval may be 1.0 or less. The magnetic steel plate is an oriented magnetic steel plate excellent in magnetic characteristics, and its iron loss reducing effect is not lost even by stress easing annealing.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-220913

(43) 公開日 平成7年(1995)8月18日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 F 1/16

C 2 1 D 8/12

9/46

B

5 0 1 A

H 0 1 F 1/16

A

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-12937

(22) 出願日 平成6年(1994)2月4日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 南田 勝宏

神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 浜田 直也

神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 杉橋 敦史

神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(74) 代理人 弁理士 矢葺 知之 (外1名)

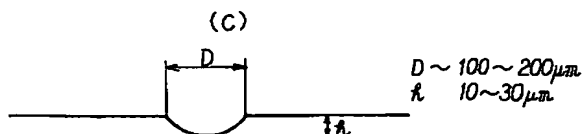
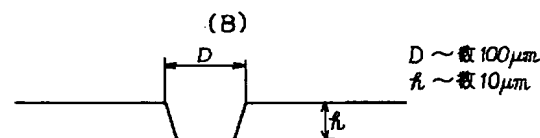
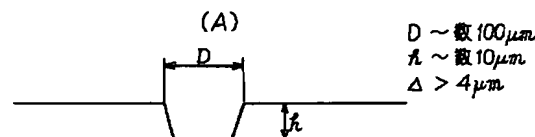
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気特性の優れた電磁鋼板

(57) 【要約】

【目的】 従来の歯形ロールの加圧法による方法あるいは化学的エッチングによる方法で形成される凹部溝の形状的な問題を解決し、実用的に使用できる応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果の残る方向性電磁鋼板の製品を提供する。

【構成】 方向性電磁鋼板の表面に、QスイッチCO₂レーザービームを照射してできた鋼板表面のクレタの平均径が100~200 μ mで、深さが10~30 μ mで、圧延方向に3~10mm、鋼板幅方向に穴径と穴間隔で規定される穴加工比(穴間隔/穴径)が1.0以下になるように均一に配列された連続パターンの痕跡を有し、かつ鋼板裏面は平坦であることを特徴とする、応力緩和焼鈍によっても鉄損値低減効果が失われない磁気特性に優れた方向性電磁鋼板。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 方向性電磁鋼板の表面に Q スイッチ CO₂ レーザビームを照射してできた鋼板表面のクレータの平均径が 100～200 μm で、深さが 10～30 μm で、圧延方向に 3～10mm、鋼板幅方向に穴径と穴間隔で規定される穴加工比（穴間隔／穴径）が 1.0 以下になるように均一に配列された連続パターンの痕跡を有し、かつ鋼板裏面は平坦であることを特徴とする、応力緩和焼鈍によっても鉄損値低減効果が失われない磁気特性に優れた方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は方向性電磁鋼板の応力緩和焼鈍 (Stress Relief Annealing : SRA) に耐え得る鉄損特性改善の優れた方向性電磁鋼板に関し、特にパルス CO₂ レーザビーム照射にて形成する地金のクレータ形状とその配列の連続パターンにより、その磁気特性を大幅に改善した低鉄損の方向性電磁鋼板に係わる。

【0002】

【従来の技術】 方向性電磁鋼板は鉄損を低減することがエネルギー節約の観点から要望されている。その方法として、レーザ照射により磁区を細分化する方法が既に特公昭 58-26405 号公報に開示されている。該方法による鉄損の低減はレーザビームを照射することによって生ずる熱衝撃波の反力によって方向性電磁鋼板に応力歪を導入し、磁区を細分化することによりヒステリシス損失の増加を抑えたまま渦電流損失の低下を図るものである。従って前記方法は歪取り焼鈍を必要としない積鉄芯トランス用としては使用できるが、応力緩和焼鈍処理を必要とする巻鉄芯トランス用としては焼鈍時にレーザにより導入した歪が消失し、磁区細分化効果が失われるため使用できない問題があった。

【0003】 これに対し、鉄損値低減効果が応力緩和焼鈍後も残るようにした方向性電磁鋼板の磁気特性改善方法としては、鋼板に応力歪レベルを超えた応力緩和焼鈍後も残留する組織的あるいは形状的な変化を与えることにより、透磁率の変化を導入し磁区を細分化する方法が考案され様々に提案されている。

【0004】 形状的な変化により応力緩和焼鈍後に効果のある鉄損値の低減例としては、溝状あるいは点状、線状の凹部を鋼板に導入するものとして以下のようなものが開示されている。

【0005】 特公昭 63-44804 号公報には機械的な押圧方式が提案されている。仕上げ焼鈍済または絶縁被膜処理済の鋼板に、歯車型ロールにより平均荷重 70～220 kg/mm² で線状または点状、破線状等の凹部を形成する際、鋼板の温度を 50～500℃ にして加工しその後、750℃ 以上の温度で熱処理することにより結晶粒内に微細再結晶粒を生じさせて磁区の細分化を図ろうとするものである。本方法には機械加工での安定性、

信頼性そしてプロセスの複雑化等の製造方法上の問題があるが、磁気特性だけの観点からみれば実用レベルに十分な鉄損値低減効果が期待できる。

【0006】 同様な方法として 800℃ を超える応力緩和焼鈍を行っても鉄損改善効果が消滅しない方向性電磁鋼板の処理方法として、Physica Scripta 誌, Vol. T24, p.36-41, 1988 には歯形ロールを用いて圧延方向に直角に深さ 10～25 μm の溝を形成する方法が提示されている。この方法によれば、850℃、4 時間の応力緩和焼鈍を行っても、改善された鉄損値が劣化しないことが実験的に確認されている。本方法にも面接触式加工方法であること、ならびに電磁鋼板は多量の Si を含有することから素材硬度がかなり高いことから、歯形ロールの寿命が短く、生産コストが大幅に高くなるという製造方法上の問題点があるが、製品としては実用レベルに十分な鉄損値低減効果が得られている。さらに化学的エッチングによる方法による凹部の導入についても米国特許第 4750949 号明細書で開示され、生産性が低いという問題があるものの、ここでも十分な鉄損値低減効果が得られている。

【0007】 また、組織的な変化を導入して応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果が残るようにしたものとしては、特開昭 59-100222 号公報において二次再結晶焼鈍済の鋼板に局所的な熱処理を加えて 800℃ 以上の温度で焼なましを行い、人工的粒界を導入する方法が開示されている。該方法は鉄損値の低減が、鋼板に導入された人工粒界により磁区細分化を図ることによって達成される。800℃ 以上の温度で焼なましするため、歪取り焼鈍により効果が消失することはないが、実施例からみて形状変化を導入する鉄損値低減方法なみの実用レベルの鉄損値低減効果を得ることはできない。

【0008】 このように方法的な欠点はあるものの、鋼板表面に凹部の溝状あるいは点状、線状の形状変化を導入することで鉄損値を低減した方向性電磁鋼板は、鉄損値の低減幅の大きさ、低減状況の安定性の観点から、製品としては実用レベルにあることは公知の事実である。

【0009】 しかし上記に示した機械的あるいは化学的エッチングによる方法で製造した凹部溝を持つ電磁鋼板には製造方法が工業的な生産性の観点から問題である以上に製品としての鋼板に以下のような問題点がある。

【0010】 機械的に形成した凹部形状を詳細に観察すると、鋭い刃形状の工具より、硬度の高い鋼板に凹部の傷を導入するため、凹部断面は図 3 (A) に示すように凹部の各コーナー部においてかなり鋭角的になっている。あるいは鋼板に強引に弾性領域を超える応力を与え凹部溝を導入するため、凹部の近傍に余分な歪が入り、大きな残留応力が存在してしまうとともに、鋼板裏面に通常 4 μm を超える凸部が発生する。この凸部は弾性領域の変形を受けて形成されたものであるもので、その後の平坦化昇温処理を行っても消失することなく残存する。

応力緩和焼鈍後にも鉄損値低減効果がある電磁鋼板は巻鉄芯に使用するのが主目的である。鉄損値低減処理を済ませた鋼板は巻鉄芯の形状に加工され、しかる後応力緩和焼鈍を施され巻加工時に導入された余分な歪を取り去られる。従って凹部溝導入時に入った歪あるいは凹部溝形状に起因する鋼板の機械的加工特性は、巻成形加工時にはそのままの形で現れる。

【0011】電磁鋼板は成分中にSiを多く含むため加工性が低く、僅かの原因で割れが発生する材料である。仮に曲率の小さな巻鉄芯を成形しようとする場合には前記のように機械的に導入された凹部の形状は各コーナ部が鋭角的であり、加工性が低い電磁鋼板に対して凹部がクラックの起点になり巻加工中に割れが発生する問題があった。さらに前述のように機械式で形成した凹部の裏面には凸部が発生するため、図5に示すように巻鉄芯を製作する際、凸部が障害となって積層した鋼板の間に空隙が発生する。これは、鋼板の占積率の低下をもたらす、鉄芯の性能の著しい低下をもたらすという問題があった(図4)。

【0012】凹部溝を導入する他の方法である化学的エッチングにおいても、凹部導入時の裏面の凸部については機械式と違い存在しないものの(図3(B))、凹部の断面形状については機械式より一層鋭角的であり、巻加工時の割れの発生は機械式よりも大きいという問題があった。

【0013】以上のように従来法による応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果の残る、鋼板表面に凹部を持った方向性電磁鋼板は、その加工形状自体の特性から、実用的に使用する上で問題があった。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来の歯形ロールの加圧法による方法あるいは化学的エッチングによる方法で形成される凹部溝の形状的な問題を解決し、実用的に使用できる応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果の残る方向性電磁鋼板の製品を提供するものである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、QスイッチCO₂レーザを照射することにより、方向性電磁鋼板の表面に形成したクレタの平均径が100～200μmで、そして深さが10～30μmで圧延方向に3～10mm、鋼板幅方向にクレタの穴加工比1.0以下になるように均一に配列された連続パターンを有し、かつ鋼板表面は平坦であり、応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果が残ることを特徴とした磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を要旨するものである。

【0016】

【作用】以下に本発明を詳細に説明する。図1は、本発明の応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果が残ることを特徴とした磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を製造する方法の主たる構成要素であるQスイッチCO₂レーザ共振器

の構成と、その出力パルスの電磁鋼板への照射光学系の構成を示したものである。

【0017】レーザ放電部2は、CO₂レーザ媒質であるレーザガスに連続的もしくはパルスの放電動起によってエネルギーを供給する部分であり、レーザ共振器を構成する全反射鏡3と全透過窓4によって大気と遮断されている。大気中に設置された出力鏡7と全透過窓4との間には、共焦点テレスコープ5と回転チョップ6によって構成されるQスイッチング装置が設置される。QスイッチCO₂レーザ共振器から取り出されたパルスレーザビーム1は、ポリゴンミラー8による回転スキャナーによって電磁鋼板10の板幅方向に走査され、平面全反射鏡11で反射して放物面鏡9によって集光された後、電磁鋼板10に照射される。

【0018】図2は、パルス繰り返し周波数12kHzでQスイッチ発振した場合の、QスイッチCO₂レーザパルス波形を示したものである。初期スパイク部はQスイッチレーザ特有のジャイアントパルス発振部であり、その半値幅の範囲は10nsec以上、1μsec以下である。このQスイッチCO₂レーザパルスは初期スパイク後に長いテイル部分を伴っている。このテイル部の最大長さはおよそ10μsecである。これはQスイッチYAGレーザにはないQスイッチCO₂レーザに特有のパルステイルである。なお回転チョップを用いたQスイッチングにおいては、レーザ光透過スリットの幅を適宜変更することによりパルステイル長を短くすることが可能である。Qスイッチ発振時のパルス繰り返し周波数の最大値は、一般の連続波発振CO₂レーザを用いてQスイッチ発振させる場合、100kHz程度までの周波数が実現可能である。なおこれより周波数を下げてゆく場合、20kHz程度のパルス繰り返し周波数までの領域では、パルスエネルギーとパルス繰り返し周波数はおよそ反比例の関係、すなわち一定のレーザ平均出力が得られる。

【0019】以上に示したようなQスイッチパルスCO₂レーザを方向性電磁鋼板に照射した場合の、鉄損特性改善に関して以下に詳細に説明する。まず穴径に対して穴深さを変化させ、鉄損低減効果について調べた。穴径100μm未満では穴深さを変化させたが、磁区の細分化効果が不十分で鉄損値の低減効果が得られず、出発鉄損値に対する改善鉄損値の割合で定義される鉄損改善率も平均で5%以下であった。

【0020】次に穴径を100～200μmとした場合に、穴深さ10～30μmの場合に応力緩和焼鈍後も鉄損値低減効果が消失せずに残る特性を有する結果が得られ、鉄損改善率で7%以上の値が安定して得られた。この時の加工条件としてはレーザビーム径0.2mm、ピークパワー密度 $2 \times 10^7 \text{ W/cm}^2 \sim 2 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ であった。穴深さについてはこれ以上深い凹部を鋼板表面に導入すると磁束密度の劣化をきたし、鉄損低減効果が不安定になる傾向がみられ、鉄損改善率も5%以下になっ

た。これはレーザ加工によって形成される歪領域が広くなり過ぎると、磁区細分化が起こりにくくなるためと考えられる。また穴径 $200\mu\text{m}$ を超える場合についても穴深さを变化させた凹部を形成したが、やはり磁束密度の劣化をきたし、鉄損低減効果が不安定になる傾向がみられ、鉄損改善率が5%以下になった。これもレーザ加工によって形成される歪領域が広くなり過ぎると、磁区細分化が起こりにくくなるためと考えられる。従って効果的な鉄損低減を得るには、穴径で $100\sim 200\mu\text{m}$ 、穴深さで $10\sim 30\mu\text{m}$ の凹部を導入することがよい。

【0021】図3(C)はこの時に得られた加工穴あるいは溝の断面形状を示した模式図である。加工穴形状は加工穴径Dと加工穴深さhにより決定されるお椀状の形状に近い形になっている。これは加工点でのレーザエネルギー密度が中心部の方が高く、中心部から鋼板の蒸発除去現象が開始されたためと考えられる。さらに、本実験においては鋼板の除去を促進するためにアシストガスとして乾燥空気をレーザビームと同軸に鋼板に吹き付けたが、ガスの流れが穴の中心部から外周部同心円状に形成されるため、穴中心部が深いお椀の加工を促進する。このようにレーザ加工により鋼板に凹部の加工を施す場合はその加工プロセスから加工された穴はお椀状に形成され、機械式あるいは光学エッチングにより形成される鋭角的なものとは異なった形状を持つ。さらにこの時の鋼板裏面の凹凸の状況を調べたところ、表面加工の影響による凹凸部は殆どみられなかった。

【0022】このようにレーザ照射により凹部を形成する方法では、形成された凹部は基本的に球状であるため、前述したように処理後の電磁鋼板を巻成形する際のクラックの起点になる可能性が少ない。またレーザ照射による凹部の形成は高々 μsec オーダーの瞬間的な除去加工であるため、加工部近傍に余分な応力が残留する恐れもなく、しかも機械式による凹部形成と異なり、裏面への影響もなく、鋼板の占積率を低下させることがない。

【0023】さらに本発明の鋼板加工に使用したパルスレーザの波形は図2に示したように初期スパイクの後方にテイル部を有している。このテイル部の効果を調べるため、パルステイル部分の長さを逐次変化させながらその加工特性への影響を調べた。その結果、パルステイル部分がない場合も高品質の穴加工が実現できるが、さらに 100nsec 以上のパルステイルを付加すると穴加工部位の周囲への異物の付着状況が改善され、より加工品質が改善されることがわかった。このパルステイルによる効果は、テイル部分による鋼板の再熱効果によって初期スパイク部の照射で発生したスパッタ等を加熱、蒸発させ滑らかな穴加工を実現しているものと思われる。

【0024】次に凹部のピッチを変化させ鉄損値低減効果を調べた。レーザ照射による穴の大きさとその位置関係はレーザの繰り返し周波数とレーザビームの走査速度

にて決まる。図5に穴の径(d)と穴の間隔(p)そしてそれらの比である穴加工比(R_{dp})を示している。 $R_{dp}=p/d$ であり、穴径と間隔が等しい場合、穴加工比 R_{dp} は1になる。また間隔が穴径の半分の場合、穴加工比 R_{dp} は0.5となる。前述した穴径 $100\sim 200\mu\text{m}$ 、穴深さ $10\sim 30\mu\text{m}$ の穴について穴加工比を変化させたところ以下のような結果を得た。穴加工比1.0以下になるように均一に配列された連続パターン of 痕跡が磁気特性に優れ鉄損改善効果が明確であり穴加工比が1を超えるものは十分な鉄損改善効果が得られなかった。これは穴加工比が1を超えると歪が導入されない部分の影響が大きくなり鉄損改善効果が明確でなくなるからである。板幅方向のピッチ下限に関しては、従来技術の歯形ロールで連続的な溝加工を行っていることからわかるように、特に下限値はない。そして圧延方向のピッチは $3\sim 10\text{mm}$ 照射間隔が鉄損値低減効果を得るのに必要であり、この間隔が広くなり過ぎると歪が導入されない部分の影響が大きくなり鉄損改善効果が明確でなくなり、狭過ぎると磁束密度の劣化をきたし、鉄損低減効果が不安定になる傾向がみられた。これは、レーザ加工によって形成される歪領域が密になり過ぎると、磁区細分化が起こりにくくなるためと考えられる。

【0025】

【実施例】以下に本発明を詳細に説明する。本発明の応力緩和焼鈍によって鉄損値が低下せずに向上する特性を有していることを特徴とした磁気特性に優れた方向性電磁鋼板を製造する方法について図1に示す構成図を用いて実施した。レーザ放電部2は連続波発振 CO_2 レーザの放電励起部分であり、フリーランニングモードで連続波発振させた場合、ほぼTEM00モードで3kWのレーザ出力を得る能力を有する。全反射鏡3は波長 $10.59\mu\text{m}$ において反射率99.8%を有する多層膜蒸着を施したZnSe反射鏡である。全透過窓4は波長 $10.59\mu\text{m}$ での無反射コーティングが施されたZnSe窓である。共焦点望遠鏡5は同様なコーティングが施された焦点距離 100mm のZnSeレンズ2枚によって構成される。回転チョップ6は60,000rpmで回転する金属ブレードで、チョップブレード上には $10\sim 100$ 個のスリットが導入されている。従って、パルス繰り返し周波数は $10\sim 100\text{kHz}$ である。以上の条件でレーザをフリーランニングモードで発振させた場合の平均出力はおおよそ 1200W 強である。レーザ共振器から取り出されたレーザビーム1はポリゴンミラー8によって鋼板幅方向に 100mm に亘って走査される。レーザビーム1は点集光の場合は、放物面鏡9によって鋼板10の表面上で 0.2mm 直径のビームに集光される。

【0026】パルス繰り返し周波数 50kHz 、波長 $10.59\mu\text{m}$ のレーザビームを集光し、初期スパイク部のパルス半値幅 250nsec 、パルステイル $2\mu\text{sec}$ のQスイッチ CO_2 レーザパルスを初期スパイク部のピーク

7

パワー密度を $5 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$ として、平均穴径を $200 \mu\text{m}$ 、穴深さを $20 \mu\text{m}$ として、鋼板幅方向のレーザー光走査速度を 350 m/min に設定して、穴加工比を 0.5 として、鋼板圧延方向に 6.5 mm 間隔で照射した。その結果、未照射材に対する全鉄損改善率として 9% の値を得、この値は応力緩和焼鈍を施しても変化しなかった。さらにこうして製作したサンプルを図 6 に示すような巻鉄芯に成形したところ成形時の割れや積層時の空隙もない良好な成形が行えた。

【0027】

【発明の効果】以上に説明した如く本発明による応力緩和焼鈍によって鉄損値が低下せずに向上する特性（耐 SRA 性）を有する方向性電磁鋼板をパルス CO_2 レーザを用いた鉄損改善方法によって製造できる。このように本方向性電磁鋼板は耐応力緩和焼鈍性を有することから従来のレーザー照射による製品では適用できなかった巻鉄芯用素材への適用も可能となり、その用途を大幅に広げ得る。さらに従来からあった耐応力緩和焼鈍性を有する鉄損改善方法である歯形ロール等を用いる方法で製造した鋼板に比べても鉄損低減率が同等以上、巻鉄芯への加工性で上回る良好な結果を実現した。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の応力緩和焼鈍によって鉄損値が低下せずに向上する特性（耐 SRA 性）を有する方向性電磁鋼板を製造する、パルス CO_2 レーザを用いた方向性電磁

8

鋼板の鉄損改善方法の構成を示す模式図である。

【図 2】Q スイッチ CO_2 レーザの発振波形の典型的な測定結果例である。

【図 3】本発明の鋼板表面の凹部と従来法の凹部の断面形状の概念図である。

【図 4】従来の機械式で形成した凹部を持つ鋼板を積層した場合の概念図である。

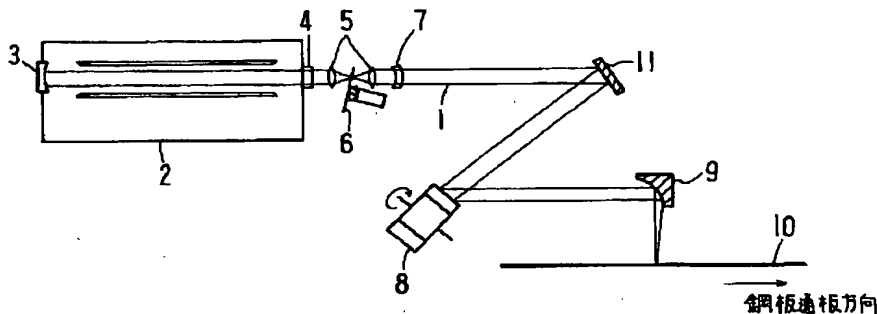
【図 5】本発明の方向性電磁鋼板のパルス CO_2 レーザによる穴加工のパターンと穴加工比を示す模式図である。

【図 6】実施例で製作した巻鉄芯の概念図である。

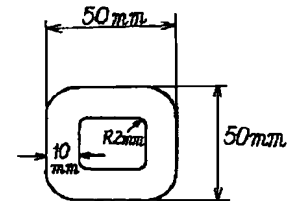
【符号の説明】

- | | |
|----|----------------------|
| 1 | パルスレーザービーム |
| 1' | ポリゴンミラーへ投入されるレーザービーム |
| 2 | レーザー放電部 |
| 3 | 全反射鏡 |
| 4 | ZnSe 全透過窓 |
| 5 | 共焦点テレスコープ |
| 6 | 回転チョップ |
| 7 | 出力鏡 |
| 8 | ポリゴンミラー |
| 9 | 放物面鏡 |
| 10 | 電磁鋼板 |
| 11 | 平面全反射鏡 |

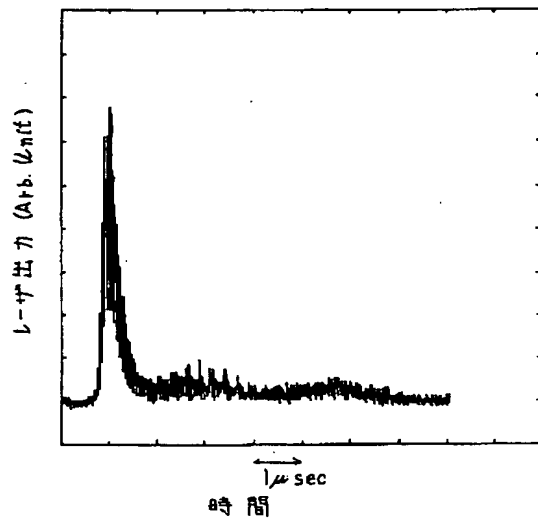
【図 1】



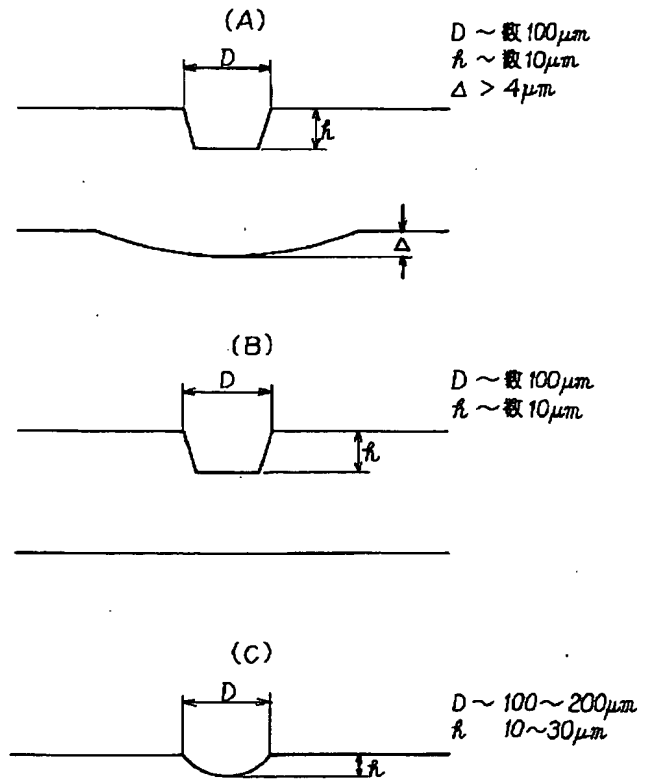
【図 6】



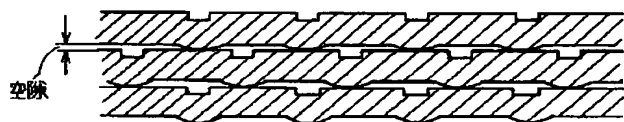
【図2】



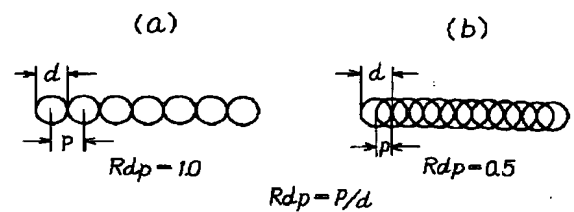
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 尊道

神奈川県相模原市淵野辺 5-10-1 新日

本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内